Aus der Kinderklinik der Universität Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. med. G.-A. von Harnack

Lungenfunktionsuntersuchungen bei Säuglingen und Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen beatmet wurden.

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Ingeborg Moderau

1979

1980

Aus der Kinderklinik der Universität Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. med. G.-A. von Harnack

Lungenfunktionsuntersuchungen bei Säuglingen und Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen beatmet wurden.

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Ingeborg Moderau

1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

„Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf"

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Krüskemper

Referent

gez.: Priv.-Doz. Dr. Stemmann

Korreferent

gez.: Prof. Dr. Arnold

Verwendete Abkürzungen

AMV	Atemminutenvolumen (ml/min)
AZV	Atemzugvolumen (ml)
$\text{Atemarbeit}_{\text{spez.}}$	spezifische Atemarbeit (pcm/l)
$C_{\text{dyn.}}$	dynamische Compliance (ml/cm H_2O)
$C_{\text{spez.}}$	spezifische Compliance (ml/cm H_2O/kg)
cm H_2O	Zentimeter Wassersäule
Δp	Druckänderung (cm H_2O)
ΔV	Volumenänderung (ml)
g	Gramm Körpergewicht
kg	Kilogramm Körpergewicht
l	Liter
ml	Milliliter
$p_{\text{visc.}}$	viscöser Druck
$\bar{R}$	arithmetischer Mittelwert aus in- und exspiratorischer Resistance (cm H_2O/l/s)
s	Sekunde
V	Volumen (ml)
$\dot{V}$	Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der halben In- bzw. Exspiration (l/s)

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543910_0045

INHALTSANGABE

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Literaturübersicht	2
III.	Methodik	5
III. 1.	Patientengut	5
III. 2.	Vorbereitung und Untersuchungsablauf	7
III. 3	Pneumotachographie	8
III. 4	Druckmessung	9
III. 5.	Registrierung	11
III. 6.	Auswertung der Registrierungen	11
III. 6.1	Atemzugvolumen	11
III. 6.2	Druck	11
III. 6.3	Compliance	12
III. 6.4	Resistance	14
III. 6.5	Atemarbeit	16
IV.	Ergebnisse	17
IV. 1.	Einzelmessungen an lungengesunden Säuglingen	17
IV. 1.1	Spezifische Compliance	20
IV. 1.2	Resistance	22
IV. 1.3	Spezifische Atemarbeit	24

		Seite
IV. 2	Verlaufsmessungen an wegen hyaliner Membranen beatmeten Säuglingen	27
IV. 2.1	Spezifische Compliance	33
IV. 2.2	Resistance	36
IV. 2.3	Spezifische Atemarbeit	38
IV. 3	Einzeluntersuchungen an Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen beatmet wurden	40
IV. 3.1	Dynamische Compliance	40
IV. 3.2	Resistance	42
IV. 3.3	Spezifische Atemarbeit	45
V.	**Diskussion**	50
V. 1.	Lungengesunde Säuglinge	50
V. 2.	Verlaufsmessungen an beatmeten Säuglingen	52
V. 3.	Einzeluntersuchungen an Kleinkindern, die postpartal beatmet wurden	55
VI.	**Zusammenfassung**	58
VII.	**Literaturverzeichnis**	60

I. Einleitung

In den letzten Jahren gelang es, durch künstliche Beatmung und Gabe von Sauerstoff die Überlebenschancen Früh- und Neugeborener, die an hyalinen Membranen der Lunge erkrankten, zu verbessern. Die Prognose dieser Kinder, was die Lungenfunktion und nachfolgende Erkrankungen der Lunge anbetrifft, wird allgemein als günstig angesehen (STAHLMAN, BENOIST).

Einzelne Autoren haben darauf hingewiesen, daß ein Teil der überlebenden Kinder noch Jahre nach Beendigung der Respiratortherapie Lungenschäden aufweist. Diese Schäden werden zum Teil auf die Grunderkrankung (SHEPARD, HODGMAN), zum Teil aber auch auf die maschinelle Beatmung und Sauerstoffgabe zurückgeführt (NORTHWAY, WESTGATE).

Die vorliegende Arbeit soll nun die Fragen untersuchen:
Läßt sich mit Hilfe von Lungenfunktionsmessungen bei langzeitbeatmeten Kindern eine prognostische Tendenz feststellen, und zu welchem Zeitpunkt ist dies möglich?

II. Literaturübersicht

Das Atemnotsyndrom des Neugeborenen hat mehrere Ursachen, von denen die hyalinen Membranen der Lunge die häufigste darstellen.

In Amerika sterben jährlich 25 000 Kinder an dieser Erkrankung. Hauptsächlich betroffen sind Frühgeborene, deren Lunge noch unreif ist (3). Kinder, die hyaline Membranen der Lunge aufweisen, leiden an einem Mangel an „surfactant", einem oberflächenaktiven Lecithin, welches die Alveolen auskleidet und verhindert, daß die Lunge während der Exspirationsphase kollabiert. Aber auch perinataler Sauerstoffmangel, Azidose und Hypothermie sind für die Entstehung dieser Erkrankung von Bedeutung. Kinder mit hyalinen Membranen der Lunge zeigen nach der Geburt Dyspnoe, Cyanose, substernale und costale Einziehungen und Nasenflügeln.

Auf dem Röntgenbild ist eine granulär-feinretikuläre Zeichnung über allen Lungenfeldern sichtbar, sowie ein positives Bronchogramm. Man unterscheidet röntgenologisch vier Stadien der Erkrankung (23):

Stadium I : feine Granulierung, die die Tranzparenz nur wenig verändert

Stadium II: Granulierung beidseitig, Luftbronchogramm wird sichtbar

Stadium III: starke Transparenzminderung, die Konturen des Mediastinums werden weich, deutliches Luftbronchogramm

Stadium IV: totale Undurchsichtigkeit der Lunge, die Grenzen des Mediastinums sind nicht mehr sichtbar

Langzeitbeatmung und hoher Sauerstoffanteil in der Atemluft können bei Kindern mit hyalinen Membranen zu fibrotischen Lungenveränderungen führen, die als bronchopulmonale Dysplasie bezeichnet werden. Nach NORTHWAY und WESTGATE findet man bereits vom sechsten Beatmungstage an eine interstitielle Fibrose und Epithelmetaplasien.

In den vergangenen Jahren wurden Untersuchungen zu der Frage durchgeführt, ob und in welchem Maße Kinder mit hyalinen Membranen der Lunge nach Langzeitbeatmung Spätschäden aufweisen. Eine Studie, die sechs Jahre nach Beatmung von STAHLMAN durchgeführt wurde, ergab, daß die meisten Kinder pneumologisch gesund waren. Nur bei einem Teil der Kinder fanden sich geringgradige Funktionseinschränkungen, klinische und röntgenologische Auffälligkeiten. LAMARRE und Mitarbeiter kamen 1973 zu einem ähnlichen Ergebnis.

Eine 1976 veröffentlichte Nachuntersuchung 2 1/2jähriger Kinder von BENOIST und Mitarbeitern ergab bei kurzzeitig beatmeten Kindern normale Werte der Lungenfunktion. Nur nach Langzeitbeatmung über mehr als 120 Stunden mit hohen Sauerstoffkonzentrationen (60% und mehr) stellten sie Lungenfunktionseinbußen fest: erniedrigte Compliance und erhöhte Lungenwiderstände. HARROD und Mitarbeiter untersuchten 22 Kinder kontinuierlich vom ersten bis zum fünften Lebensjahr nach. 15 Kinder zeigten ständig interstitielle Infiltrate und Lungenüberflutung im Röntgenbild.

Die röntgenologischen Nachuntersuchungen von OUTERBRIDGE und STERN ergaben bei 21 von 74 Kindern im Alter von 1 bis 6 Jahren peribronchiale Verdickungen und/oder Lungenüberflutung.

Nach SHEPARD scheinen die Restschäden gravierender zu sein: er stellte bei einem Drittel der Kinder, die im Alter von zwei bis fünf Jahren nachuntersucht wurden, röntgenologische Veränderungen im Sinne einer Überblähung und Lungenfibrose fest. In Biopsien, die bei zwei Kindern durchgeführt wurden, wurden peribronchiolär und alveolär fibrotische Areale gefunden.

III. Methodik

III. 1. Patientengut

An drei getrennten Kollektiven werden Lungenfunktionsuntersuchungen durchgeführt.

Einzelmessungen werden an 41 reifgeborenen, lungengesunden Säuglingen im Alter von 3 bis 305 Tagen zur Ermittlung eigener Richtwerte durchgeführt. Das Gewicht dieser Säuglinge liegt zwischen 2300 und 9290 g.

Längsschnittuntersuchungen an 19 Säuglingen werden in einer zweiten Gruppe durchgeführt, die postpartal wegen hyaliner Membranen der Lunge langzeitbeatmet wurde. Das Geburtsgewicht der Säuglinge beträgt 800 bis 3130 g, im Mittel 1934 g, das Gestationsalter durchschnittlich 34 Wochen. Die Säuglinge wurden im Mittel 256 Stunden kontrolliert beatmet. 40 % Sauerstoff und mehr wurden durchschnittlich 138 Stunden gegeben. Die Säuglinge sind zum Zeitpunkt der ersten Lungenfunktionsmessung durchschnittlich 44 Tage (8 bis 198 Tage) alt und 2678 g (1160 bis 4510 g) schwer. Die erste Messung erfolgt im Mittel 18 Tage nach Beendigung der Beatmung.

Die dritte Gruppe besteht aus 15 Kleinkindern, die im Alter von 1;4 bis 4;4 Jahren nachuntersucht werden. Die Kinder sind hinsichtlich Größe und Gewicht altersentsprechend entwickelt. Das Geburtsgewicht betrug 1050 bis 3000 g, im Mittel 1912 g, das Gestationsalter durchschnittlich 33 Wochen.

Die Kinder wurden wegen hyaliner Membranen der Lunge im Mittel 206 Stunden beatmet. 40 % Sauerstoff und mehr wurden durchschnittlich 231 Stunden gegeben.

Die Lungenfunktionsuntersuchungen bestehen in der Bestimmung der dynamischen Compliance, der Resistance nach GEUBELLE und VON DER HARDT (13, 14, 15) und der Atemarbeit nach WAWERSIK (39).

III. 2. Vorbereitung und Untersuchungsablauf

Vor der Lungenfunktionsmessung werden alle Kinder klinisch untersucht. Auffälligkeiten wie Ruhecyanose, Thoraxdeformitäten und Einziehungen während der Atmung werden vermerkt; Herz und Lunge auskultiert. Alle Kinder werden mit Phenobarbital (Luminal^{R}, Dosierung: 0,06 bis 0,15 mg i.m.), Chloralhydrat (Chloralhydrat^{R}, Dosierung: 1 Rectiole) oder Doxylaminsuccinat (Mereprine^{R}, Dosierung: 6,25 mg per os) sediert. Die Messung erfolgt nach Hochlagerung, Zurückneigen des Kopfes und Vorziehen des Unterkiefers. Der Oberkörper ist nur leicht bekleidet. Bei den Kleinkindern erfolgt im Anschluß an die Messung eine Röntgenaufnahme der Lunge.

III. 3. Pneumotachographie

Unter Pneumotachographie versteht man die fortlaufende Registrierung der Atemstromstärke. Dieses Meßverfahren beruht auf der Druckdifferenz, die zwischen zwei Punkten einer durchströmten, angeheizten Röhre auftritt (19).
Für diese Arbeit wird der Röhrenpneumatograph nach FLEISCH benutzt. Am Fleischrohr befindet sich eine Atemmaske nach RENDALL-BAKER, die während der Messung dem Gesicht des Kindes dicht aufsitzt. Das Fleischrohr ist mittels zweier Schläuche mit einem Differenzdruckwandler (STATHAM) verbunden, der zur Verstärkung der Impulse an eine Gleichspannungsmeßbrücke angeschlossen wird.
Die Eichung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgt indirekt über die Messung der Druckdifferenz am Pneumotachographen mit Hilfe eines Schrägrohrmanometers der Firma SIEMENS. Ein Integrator ermittelt elektronisch die Atemzugvolumina aus den Pneumotachographiekurven. Die Volumeneichung wird mit einer 50 ml Spritze durchgeführt mit Volumina von 20 ml und 50 ml Raumluft. Beide Eichungen erfolgen unmittelbar nach der Messung.

III. 4. Druckmessung

Die Ermittlung des intrapleuralen Druckes erfolgt indirekt über einen Ösophaguskatheter nach AGOSTONI, GEUBELLE und VON DER HARDT (1, 13, 14, 15). Nasopharyngeal wird dieser Polyäthylen-Katheter, der mit einem Latexballon am Ende versehen ist, bis in das untere Drittel der Speiseröhre vorgeschoben.

SENTERRE und GEUBELLE geben für dieses Meßverfahren, bei Neugeborenen angewandt, einen Fehler von 6 % an. Die Meßgenauigkeit ist abhängig von den Eigenschaften des Ösophaguskatheters:

1. Länge und Umfang des Latexballons
   Für die Messungen bei den Säuglingen wird eine Ballonlänge von 5 cm gewählt, der Ballonumfang beträgt 2,5 cm. Der Polyäthylenschlauch ist 50 cm lang. Für die Messungen bei den Kleinkindern beträgt die Länge des Latexballons 7 cm, der Umfang bleibt unverändert. Der Polyäthylenschlauch ist 70 cm lang.
2. Luftvolumen im Inneren des Ballons
   Vor der Messung werden 0,2 ml Luft in den Ballon gegeben.
3. Luftgehalt zwischen Ösophaguswand und Ballonoberfläche.
4. Spezifische Elastizität des Ösophagus.
   Im unteren Ösophagusdrittel ist die spezifische Elastizität am größten.
5. Lage des Patienten
   Für die Messungen werden die Kinder hochgelagert, um einen Druck der Abdominalorgane auf Lunge und Ösophagus zu verhindern.

Zur Berechnung, wie weit der Katheter in den Ösophagus vorgeschoben werden muß, wird folgende Formel angewendet:

Ösophaguslänge (cm) = (0,136 x Körpergröße in cm) + 5,934

Der Vorteil der indirekten Messung des intrapleuralen Druckes liegt in der geringen Beeinträchtigung des Patienten.

Die Druckänderungen werden mit Hilfe eines STATHAM-Druckwandlers und eines Verstärkers registriert. Die Druckeichung erfolgt jeweils vor der Messung mit einem Steigrohr.

III. 5. Registrierung

Das Pneumotachogramm, die integrierten Volumina sowie der Ösophagusdruck werden mit dem 4-Kanal-Direktschreiber MINGOGRAPH 800 der Firma SIEMENS aufgezeichnet. Der Papiervorschub beträgt 2,5 mm/s für Langzeitbeobachtungen und 25 mm/s für die Auswertung repräsentativer Atemzyklen.

III. 6. Auswertung der Registrierungen

Es werden 10 aufeinanderfolgende, gleichartige Atemzyklen ausgewählt. Atemzugvolumen, Druck, Compliance und Resistance werden graphisch ermittelt.

III. 6.1 Atemzugvolumen

Das inspiratorische Atemzugvolumen, d.h. die Fläche unter der Kurve der Atemstromstärke $\dot{V}$ wird aus der Kurve der integrierten Volumina ersichtlich (Abb. 1).

III. 6.2 Druck

Intraösophagale in-exspiratorische Druckänderungen werden als Druckamplitude Δp (cm H_2O) angegeben (19). Die Strömungsumkehr, d.h. der Durchgang der $\dot{V}$-Kurve durch den Nullpunkt, charakterisiert Beginn von In- bzw. Exspiration (Punkte A bzw. B). Das Δp entspricht der Differenz A' und B' (Abb.1). Die Aufzeichnung wird durch die Herzaktionen, die auf den Ösophagus übertragen werden, beeinflußt. Bei der Auswertung wird dieser Fehler durch Glättung der Kurve eliminiert.

III. 6.3 Compliance

Die Compliance, die Dehnbarkeit der Lunge, ist definiert als Volumenänderung ΔV pro Druckänderung Δp (ml/cm H_2O) (12,19).

Man unterscheidet zwischen statischer und dynamischer Compliance. Die Ermittlung der statischen Compliance erfordert die aktive Mitarbeit des Patienten: der Proband atmet verschiedene Volumina ein und die dazugehörigen Drucke werden bei angehaltenem Atem registriert. Dieses Meßverfahren ist bei Säuglingen und Kleinkindern nicht anwendbar. In der vorliegenden Untersuchung wird die dynamische Compliance unter Spontanatmung gemessen. Sie wird aus Δp und dem entsprechenden inspiratorischen Atemzugvolumen (AZV) bestimmt:

$$C_{dyn.} = \frac{AZV}{\Delta p} \qquad \frac{ml}{cm\ H_2O}$$

Aus zehn Atemzyklen wird der Mittelwert bestimmt.

Die spezifische Compliance wird rechnerisch ermittelt. Sie stellt die Compliance, bezogen auf das Körpergewicht dar:

$$C_{spez.} = \frac{C_{dyn.}}{kg\ KG} \qquad \frac{\frac{ml}{cm\ H_2O}}{kg}$$

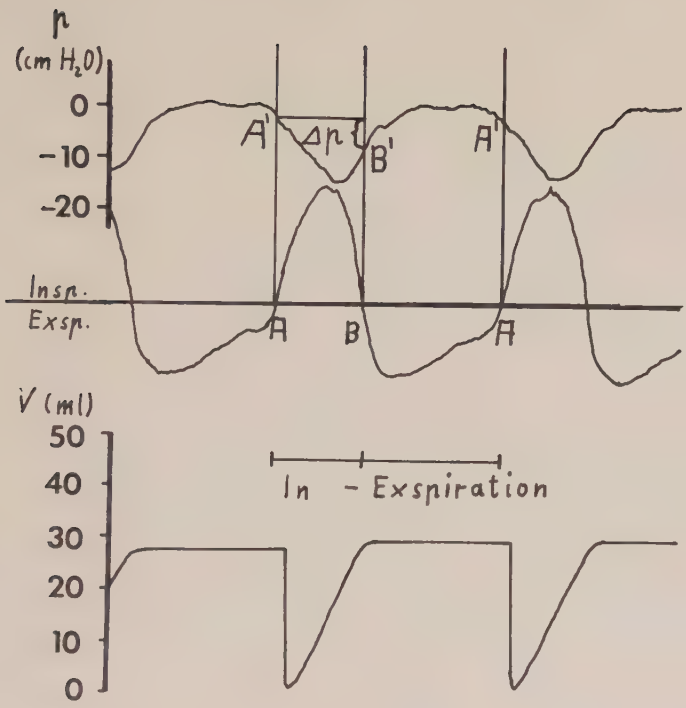


Abb. 1: Graphische Ermittlung der Compliance

Insp. = Inspiration, Exsp. = Exspiration

A, B, A = Punkte der Strömungsumkehr

A', B', A', = zeitgleiche Punkte auf der Ösophagusdruckkurve

p (cm H_2O) = intraösophagal gemessene Druckamplitude

Auf der Ordinate ist der Ösophagusdruck p (cm H_2O) aufgezeichnet.

Der Papiervorschub beträgt 25 mm/s.

III. 6.4 Resistance

Der Atemwiderstand setzt sich im wesentlichen aus drei Teilwiderständen zusammen:

a) dem bronchialen Strömungswiderstand

b) dem elastischen Widerstand des Lungengewebes (Elastance = 1/Compliance)

c) dem Reibungs- und Deformationswiderstand des nicht-elastischen Gewebeanteils der Lunge

Die mit dieser Methode bestimmten Widerstände R entsprechen im wesentlichen dem bronchialen Strömungswiderstand, werden aber durch die unter c) aufgeführten Deformationswiderstände mitbeeinflußt.

Der Widerstand R wird graphisch nach der Methode von KARLBERG (1960) ermittelt:

$$R = \frac{P_{visc.}}{\dot{V}} \qquad \frac{cm\ H_2O}{l/s}$$

Er wird für die Inspiration und Exspiration eines jeden Atemzyklus getrennt berechnet.

Der viscöse Druck $P_{visc.}$ stellt den Druck dar, der zur Überwindung des Lungenwiderstandes in der In- bzw. Exspiration aufgebracht wird (Abb. 2).

$\dot{V}$ ist die Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der halben In- bzw. Exspiration (Abb. 2).

$\bar{R}$ ist der arithmetische Mittelwert aus in- und exspiratorischer Resistance.

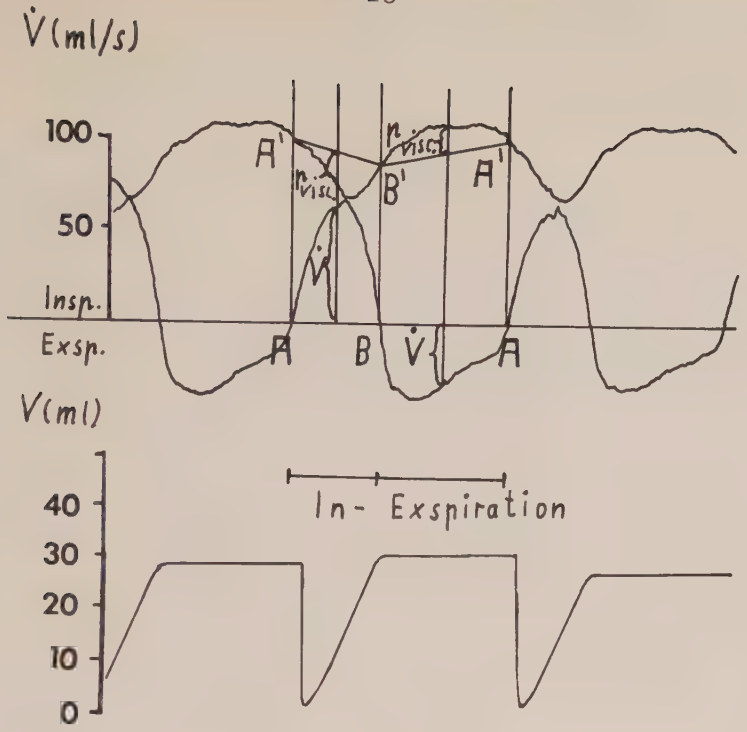


Abb. 2: Graphische Ermittlung der Resistance

Insp. = Inspiration, Exsp. = Exspiration

A, B, A = Punkte der Strömungsumkehr

A', B', A', = zeitgleiche Punkte auf der Ösophagusdruckkurve

$P_{visc.}$ = viscöser Druck, der zur Überwindung des Lungenwiderstandes in der In- oder Exspiration aufgebracht wird

$\dot{V}$ (l/s) = Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der halben In- bzw. Exspiration

Auf der Ordinate sind von oben nach unten aufgezeichnet die Strömungsgeschwindigkeit $\dot{V}$ (ml/s) und das integrierte Atemzugvolumen V (ml). Der Papiervorschub beträgt 25 mm/s.

III. 6.5 Atemarbeit

Die Atemarbeit ist das Produkt aus Druck und Atemminutenvolumen, in dem noch Gewebs- und Strömungswiderstände zu berücksichtigen sind (Elastance, viscöse und turbulente Resistance).

Wir bestimmten die Atemarbeit nach der wesentlich vereinfachten Formel von WAWERSIK (39):

$$\text{Atemarbeit/min} = 0{,}66 \times \Delta p \times \text{AMV (pcm)}$$

Zur Berechnung der spezifischen Atemarbeit wird ebenfalls nach WAWERSIK die Atemarbeit auf eine Ventilation von 1 l bezogen:

$$\text{Atemarbeit}_{\text{spez.}} \quad \frac{\text{pcm}}{\text{l}}$$

IV. Ergebnisse

IV. 1. Einzelmessungen an lungengesunden Säuglingen

Bei 41 lungengesunden Säuglingen werden Lungenfunktionsuntersuchungen durchgeführt. Die klinischen Daten der Kinder, sowie die Ergebnisse der Lungenfunktionsuntersuchung sind in Tabelle 1 aufgeführt.

T A B E L L E 1

E I N Z E L M E S S U N G E N A N L U N G E N G E S U N D E N S Ä U G L I N G E N

Pat.Nr.	Geburts-gewicht (g)	Gestations-alter (Wochen)	Lebens-alter (Tage)	Größe (cm)	Gewicht (g)	$C_{spez.}$ (ml/cmH_2O/kg)	$\bar{R}$ (cmH_2O/l/s)	$Atemarbeit_{spez.}$ (pcm/l)
1,♂	2720	40	66	56	4180	1,73	146,55	2,84
2,♂	3200	40	108	64	5940	1,83	86,11	2,34
3,♂	3100	40	8	50	3060	1,66	97,5	2,77
4,♀	3800	40	42	52	3730	1,18	93,83	3,14
5,♀	1990	36	36	48	2730	1,34	81,24	4,49
6,♀	1880	36	36	47	2500	1,23	92,25	3,76
7,♀	3900	40	78	58	4750	1,26	153,69	2,64
8,♀	3320	40	8	51	3160	1,1	/	3,37
9,♀	3030	39	8	50	3000	1,2	/	3,16
10,♂	2950	40	8	49	2930	2,0	/	1,96
11,♀	2720	40	7	49	2630	1,3	/	2,81
12,♂	3200	40	11	49	3530	1,6	/	3,81
13,♀	2750	40	150	63	5030	1,71	86,52	2,11
14,♂	2570	40	99	58	5880	2,01	62,61	2,24
15,♂	2350	34	11	46	2300	2,78	200,26	2,05
16,♂	3860	40	262	70	7850	2,73	49,21	2,24

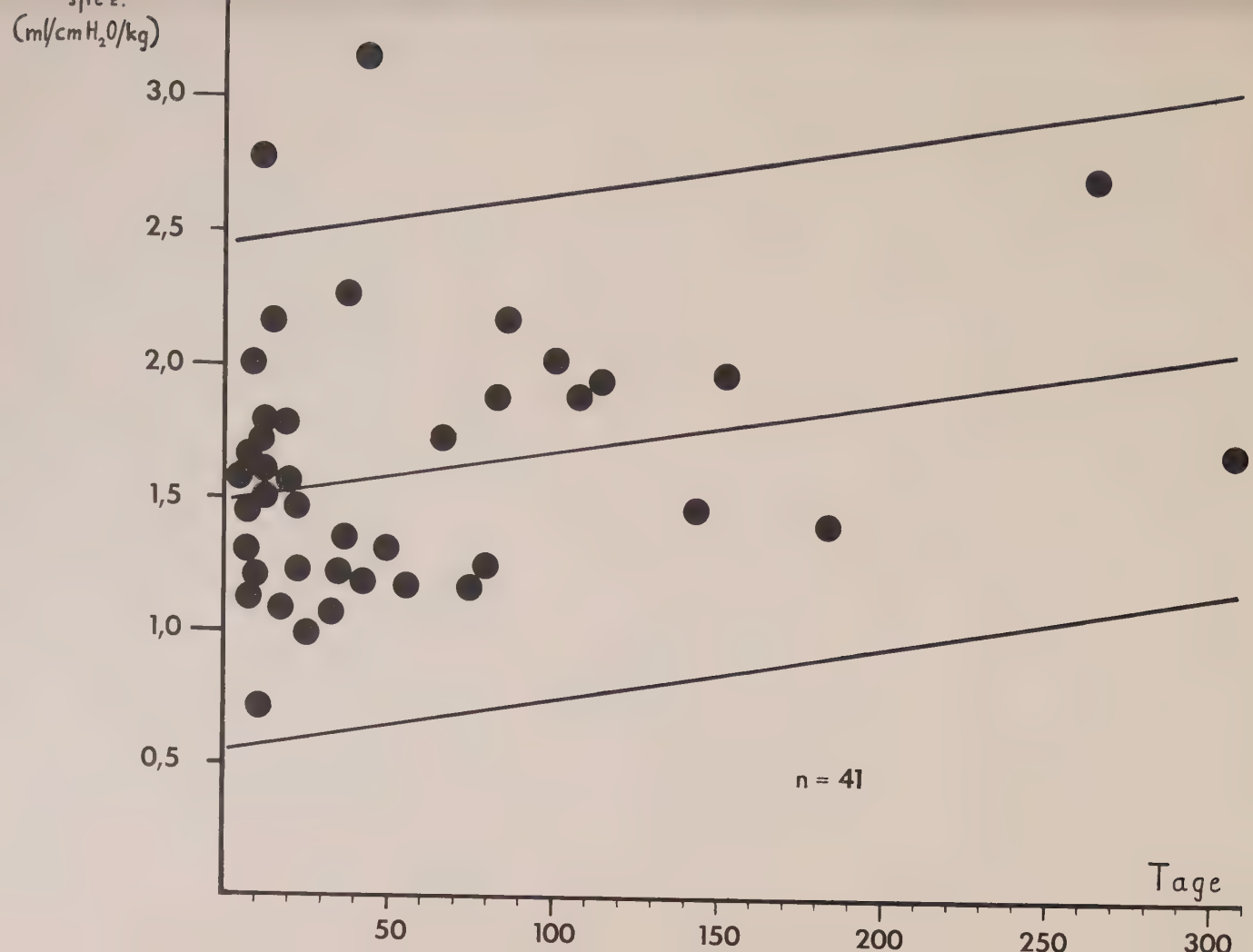
17,♀	2500	37	55	43	2380	1,18	103,69	5,12
18,♂	2300	35	16	47	2350	1,07	288,03	4,46
19,♀	3700	40	112	58	4710	1,93	86,25	3,00
20,♀	3450	40	49	55	4490	1,31	95,83	2,84
21,♂	3220	40	84	55	5260	2,17	39,36	2,28
22,♀	4020	40	10	51	3710	0,7	110,05	4,55
23,♂	4050	40	182	73	9290	1,4	62,40	3,86
24,♀	2950	40	43	51	3620	3,12	56,29	1,91
25,♀	3260	40	36	52	4480	2,25	95,79	1,56
26,♂	3200	40	305	74	8830	1,69	36,43	3,37
27,♂	2530	37	22	48	2530	1,24	159,85	3,83
28,♂	3650	40	81	59	5490	1,87	120,20	2,90
29,♂	3630	40	3	51	3510	1,54	186,61	2,31
30,♂	3150	40	75	60	5570	1,18	143,66	3,76
31,♂	3650	40	142	67	7510	1,46	34,23	3,37
32,♂	2760	40	34	50	3550	1,03	103,81	3,63
33,♂	2380	33	24	48	2680	0,99	112,35	4,82
34,♂	3860	40	7	54	3800	1,44	120,80	1,85
35,♂	3640	40	11	52	3510	1,75	79,44	2,24
36,♂	3080	40	11	52	3210	1,49	32,74	2,71
37,♂	3750	40	9	50	3680	1,71	103,92	2,05
38,♂	3310	40	14	50	3160	2,15	104,47	2,05
39,♂	2190	38	19	50	2570	1,54	197,61	2,84
40,♀	3300	37	16	51	3080	1,78	119,51	2,31
41,♂	2320	35	21	47	3000	1,47	74,12	2,38

IV. 1.1 Spezifische Compliance ($C_{spez.}$ (ml/cm H_2O/kg)) (Abb. 3)

Die spezifische Compliance beträgt bei lungengesunden Säuglingen im Mittel $1{,}61 \pm 1{,}0$ ml/cm H_2O/kg. Eine Beziehung zum Lebensalter kann nicht festgestellt werden. (Korrelationskoeffizient: 0,1471, Irrtumswahrscheinlichkeit: $p > 0{,}05$). Die Gleichung der Regressionsgeraden lautet: $y = 0{,}001827x + 1{,}509 \pm 0{,}98$.

Abb. 3: Spezifische Compliance (ml/cm H_2O/kg) bei lungengesunden Säuglingen

Auf der Abszisse ist das Lebensalter in Tagen und auf der Ordinate die spezifische Compliance in ml/cm H_2O pro kg Körpergewicht dargestellt. Regressionsgerade ($y = 0{,}001827\,x + 1{,}509 \pm 0{,}98$) und doppelte Standardabweichung sind eingezeichnet.


Spez. C
(ml/cm H2O/kg)
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
n = 41
Tage
50
100
150
200
250
300

IV. 1.2 Resistance ($R_{(cm\ H_2O/l/s)}$) (Abb. 4)

Die Säuglinge werden, ausgenommen Patient 16, 18, 26, in zwei Gruppen eingeteilt:

Gruppe	N	Alter (Tage)		Resistance ($\bar{R}$ cm H_2O/l/s)	
		$\bar{x}$	2SD	$\bar{x}$	2SD
I	27	33,37	50,66	112,05	84,99
II	6	132,17	63,14	69,69	41,81

Auch hier ist keine Beziehung zum Lebensalter vorhanden, (Korrelationskoeffizient: 0,4875, Irrtumswahrscheinlichkeit: $p > 0,05$).

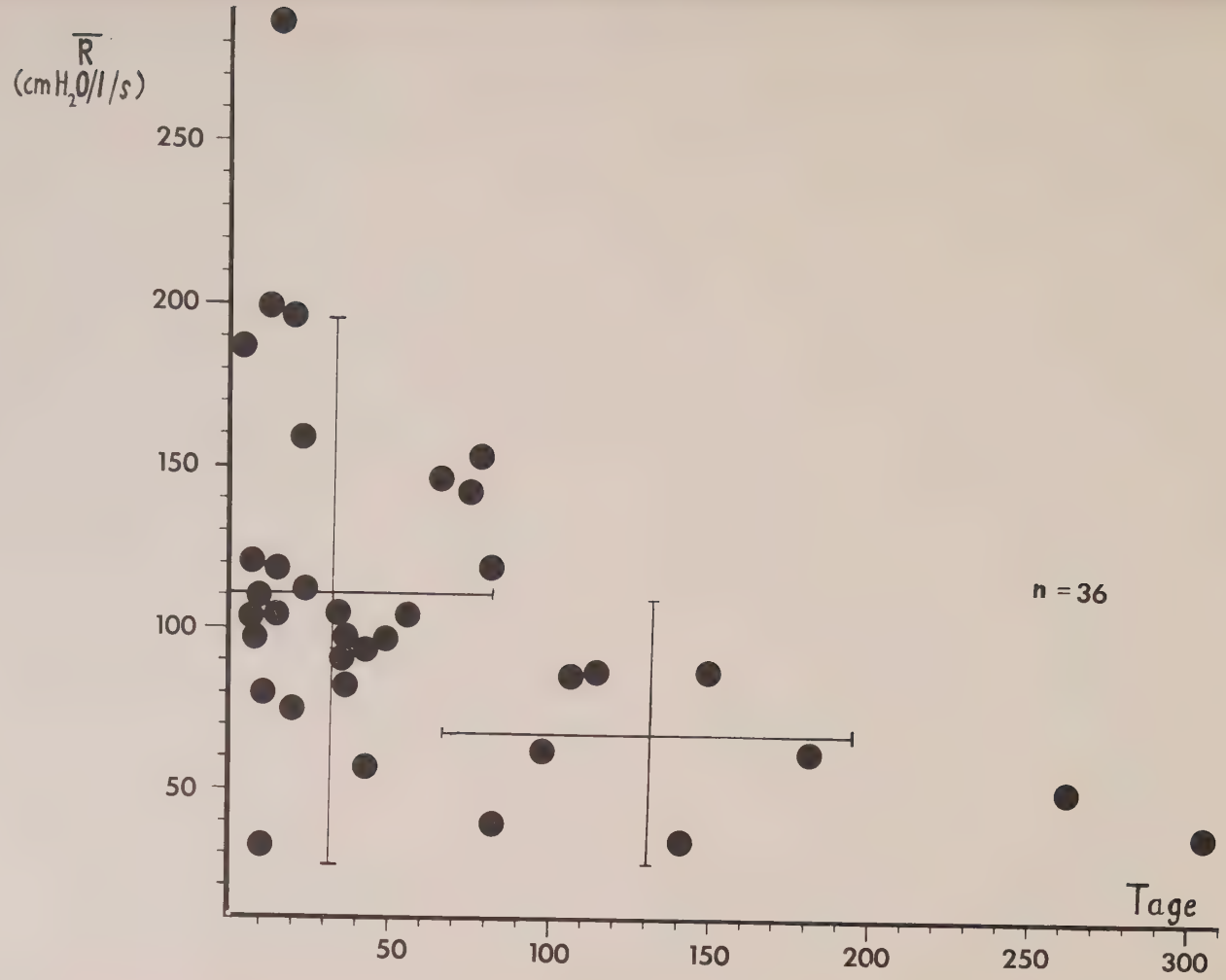
Bei fünf Säuglingen (Pat. Nr. 8, 9, 10, 11, 12) lassen sich aus meßtechnischen Gründen keine Resistancewerte ermitteln.

Abb. 4: Resistance (cm H_2O/l/s) bei lungengesunden Säuglingen

Auf der Abszisse ist das Lebensalter in Tagen und auf der Ordinate die Resistance in cm H_2O/l/s aufgeführt. Dargestellt sind 2 Gruppen von Patienten:

Gruppe I ($n = 27$) ist im Mittel 33 Tage alt. Die Resistance beträgt im Mittel $112,05 \pm 84,99$ cm H_2O/l/s.

Gruppe II ($n = 6$) ist im Mittel 132 Tage alt. Die Resistance beträgt im Mittel $69,69 \pm 41,81$ cm H_2O/l/s.

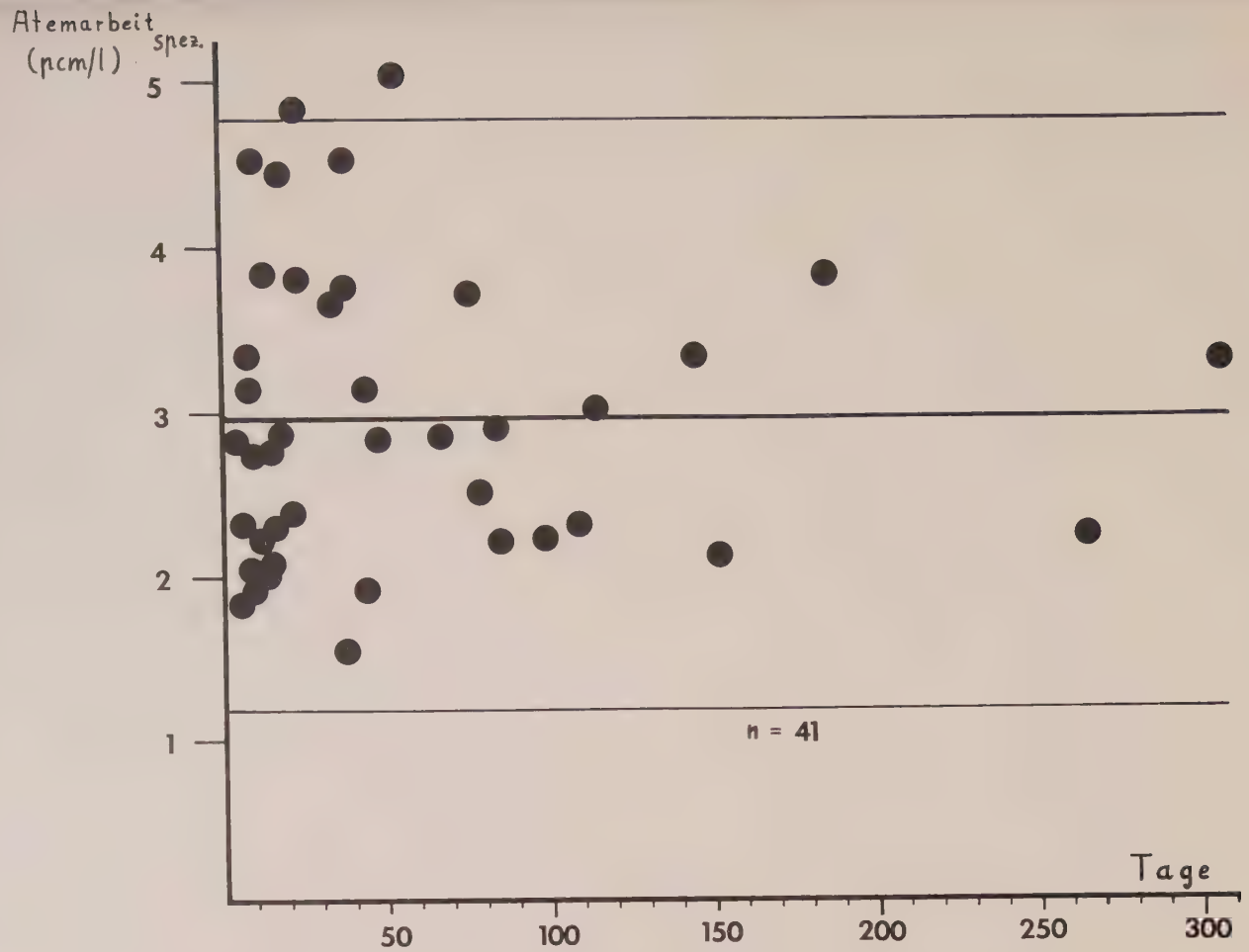

$\overline{R}$
(cm H_2O/l/s)
250
200
150
100
50
n = 36
Tage
50
100
150
200
250
300

IV. 1.3 Spezifische Atemarbeit (Atemarbeit $_{spez.}$ (pcm/l)) (Abb. 5)

Die spezifische Atemarbeit beträgt bei lungengesunden Säuglingen im Mittel $2{,}97 \pm 1{,}79$ pcm/l. Eine Beziehung zum Lebensalter kann nicht festgestellt werden. (Korrelationskoeffizient: 0,1631, Irrtumswahrscheinlichkeit: $p > 0{,}05$)

Abb. 5: Spezifische Atemarbeit (pcm/l) bei lungengesunden Säuglingen

Auf der Abszisse ist das Lebensalter in Tagen und auf der Ordinate die spezifische Atemarbeit in pcm pro l eingetragen. Mittelwert und doppelte Standardabweichung der spezifischen Atemarbeit sind eingezeichnet ($\bar{x} = 2{,}97 \pm 1{,}79$ pcm/l).


Atemarbeit
(pcm/l)
spez.
5
4
3
2
1
n = 41
Tage
50
100
150
200
250
300

IV. 2. Verlaufsmessungen an beatmeten Säuglingen

Bei 19 Säuglingen, die postpartal wegen hyaliner Membranen der Lunge beatmet worden waren, erfolgt die erste Untersuchung im Mittel 18 Tage nach Beendigung der Beatmung. Weitere Messungen folgen bei der Mehrzahl in Abständen von 1 sowie 2 und 4 Wochen. Diese Intervalle lassen sich jedoch bei einigen Säuglingen nicht genau einhalten, da sich der klinische Zustand wegen Pneumonien und Atelektasenbildung wieder verschlechterte. Die klinischen Daten der Säuglinge, sowie die Ergebnisse der Lungenfunktionsuntersuchung sind in Tabelle 2 aufgeführt.

T A B E L L E 2

L Ä N G S S C H N I T T U N T E R S U C H U N G E N A N

Pat.Nr.	Geburts-gewicht (g)	Gestations-alter (Wochen)	Art der postpartalen Atemstörung	Beatmungs-dauer (h)	Sauerstoff-gabe 40% (h)
1, ♂	2800 g	38 Wochen	HMS I	86 h	60 h
2, ♀	2200 g	37 Wochen	HMS II-III	12 h	62 h
3, ♂	1580 g	32 Wochen	HMS I	944 h	102 h
4, ♂	2330 g	38 Wochen	HMS II	246 h	136 h
7, ♂	1040 g	28 Wochen	HMS I-II	857 h	180 h
8, ♀	2000 g	37 Wochen	HMS II-III	186 h	92 h
10, ♂	3130 g	39 Wochen	HMS I	214 h	172 h
14, ♀	2500 g	40 Wochen	HMS II	172 h	156 h

B E A T M E T E N S Ä U G L I N G E N

Zeit nach Beatmungs-ende(Tage)	Lebens-alter (Tage)	Größe (cm)	Gewicht (g)	$C_{spez.}$ (ml/cmH_2O/kg)	$\overline{R}$ cmH_2O/l/s	Atem-arbeit$_{spez.}$ pcm/l)
33	38	45	3570	0,45	359,0	4,52
47	52	54	4330	0,77	210,36	5,15
145	150	67	7000	1,29	124,43	2,77
7	8	47	2130	0,76	93,04	5,13
14	15	48	2370	1,07	80,17	4,03
21	22	48	2530	1,11	65,52	4,22
119	120	61	6000	0,81	144,89	5,12
12	65	50	3010	0,5	292,84	6,73
21	74	50	3250	0,68	237,82	4,88
42	95	51	4010	0,72	128,39	4,42
56	109	52	4400	0,84	153,26	4,46
147	200	64	6570	1,0	52,54	4,85
15	25	49	2570	0,57	234,95	4,75
25	35	50	2720	0,58	228,08	4,82
32	42	50	2820	0,91	142,30	4,49
40	50	51	2980	1,3	51,77	3,37
6	80	48	2960	0,53	411,03	6,44
13	87	48	3180	0,90	269,06	3,63
21	95	49	3239	0,88	209,90	4,14
34	108	49	3340	0,94	191,82	4,11
45	119	51	3710	1,12	157,12	3,43
79	153	57	5200	1,3	165,56	2,51
14	23	46	2240	0,6	265,78	6,80
21	30	46	2520	0,74	221,2	5,81
29	38	47	2570	1,25	141,31	3,47
71	91	59	4510	0,17	198,0	8,58
82	102	59	4540	0,22	325,0	10,56
209	229	68	6350	0,54	/	6,27
244	264	69	6800	0,56	/	7,06
15	36	50	2990	0,1	913,12	16,17
29	50	51	3200	1,19	103,1	3,83
49	70	53	3240	1,8	153,73	2,21

TABELLE 2 -Fortsetzung-

LÄNGSSCHNITTUNTERSUCHUNGEN AN

Pat.Nr.	Geburts-gewicht (g)	Gestations-alter (Wochen)	Art der postpartalen Atemstörung	Beatmungs-dauer (h)	Sauerstoff-gabe > 40% (h)
15, ♀	900 g	26 Wochen	HMS I-II	1276 h	760 h
17, ♀	1600 g	31 Wochen	HMS I	32 h	260 h
18, ♂	1700 g	31 Wochen	HMS II	20 h	92 h
19, ♀	1600 g	32 Wochen	HMS I	8 h	24 h
20, ♀	2300 g	41 Wochen	HMS I	146 h	24 h
22, ♀	800 g	32 Wochen	HMS I-II	20 h	ø
23, ♂	2200 g	32 Wochen	HMS I-II	350 h	148 h
24, ♀	2110 g	40 Wochen	HMS II-III	68 h	68 h
26, ♂	2250 g	34 Wochen	HMS II	20 h	120 h
27, ♂	1870 g	32 Wochen	HMS II	182 h	160 h
28, ♂	1830 g	31 Wochen	HMS I	20 h	ø

B E A T M E T E N S Ä U G L I N G E N

Zeit nach Beatmungs-ende(Tage)	Lebens-alter (Tage)	Größe (cm)	Gewicht (g)	$C_{spez.}$ (ml/cmH_2O/kg)	$\overline{R}$ (cmH_2O/l/s)	Atem-arbeit$_{spez.}$ (pcm/l)
17	198	56	4320	0,63	469,5	6,00
24	205	56	4510	0,41	477,16	6,93
32	213	57	4540	0,67	253,0	4,82
104	285	59	4860	0,98	103,73	3,86
20	32	43	1990	1,09	259,69	4,49
34	46	46	2380	1,17	269,87	4,85
41	53	48	2460	2,24	113,04	3,53
17	22	45	2130	0,23	634,65	18,02
53	58	48	3010	1,18	140,44	4,92
10	18	42	1750	0,97	129,26	3,27
17	25	42	1960	0,77	298,18	3,40
24	32	45	2150	0,71	292,44	6,73
31	39	45	2380	2,62	104,93	1,85
38	46	46	2500	1,49	141,72	1,65
23	38	52	3940	0,42	162,37	4,88
66	81	55	5030	1,07	135,7	2,41
6	8	39	1160	1,47	57,43	2,57
68	70	44	2260	1,9	128,78	3,14
29	58	49	2730	0,65	/	4,55
249	278	69	8200	0,89	59,97	4,06
11	16	47	2230	0,68	/	5,10
264	269	71	7950	0,93	58,62	4,22
4	17	47	2260	1,29	121,5	4,09
12	25	47	2400	1,09	166,39	4,06
20	29	45	2300	0,31	604,28	14,12
27	36	45	2470	0,26	460,64	13,99
43	52	47	2780	0,62	196,69	7,4
50	59	47	3000	0,5	234,85	8,84
15	30	45	2100	0,86	308,97	4,65
22	37	45	2350	1,13	175,55	3,10
29	44	46	2600	1,15	150,37	3,23
56	71	50	3100	1,82	70,69	2,51

IV. 2.1 Spezifische Compliance ($C_{spez.}$ (ml/cm H_2O/kg)) (Abb. 6)

Die erste Messung, im Mittel 18 Tage nach Beatmungsende durchgeführt, ergibt eine relativ niedrige spezifische Compliance bei fast allen Säuglingen. Der Mittelwert beträgt 0,65 ml/cm H_2O/kg im Vergleich zu 1,61 ml/cm H_2O/kg bei lungengesunden Säuglingen. In den darauffolgenden Wochen gibt es unterschiedliche Verläufe: Bei 13 von 19 Säuglingen kommt es zu einem steilen Anstieg der spezifischen Compliance in kurzer Zeit. 6 Säuglinge zeigen einen abweichenden Verlauf: Bei 3 Säuglingen (Pat. Nr. 1, 3, 15) ist ein mäßiger Anstieg vorhanden und bei dreien (Pat. Nr. 10, 23, 24) fehlt über Monate die aufsteigende Tendenz nahezu vollständig. Diejenigen Säuglinge, die einen abweichenden Verlauf zeigen, sind auch klinisch auffällig: Einziehungen, Stridor und Belastungscyanose sind bei einigen Säuglingen feststellbar, bei anderen verschlechterte sich der klinische Zustand durch Pneumonien oder Atelektasenbildung.

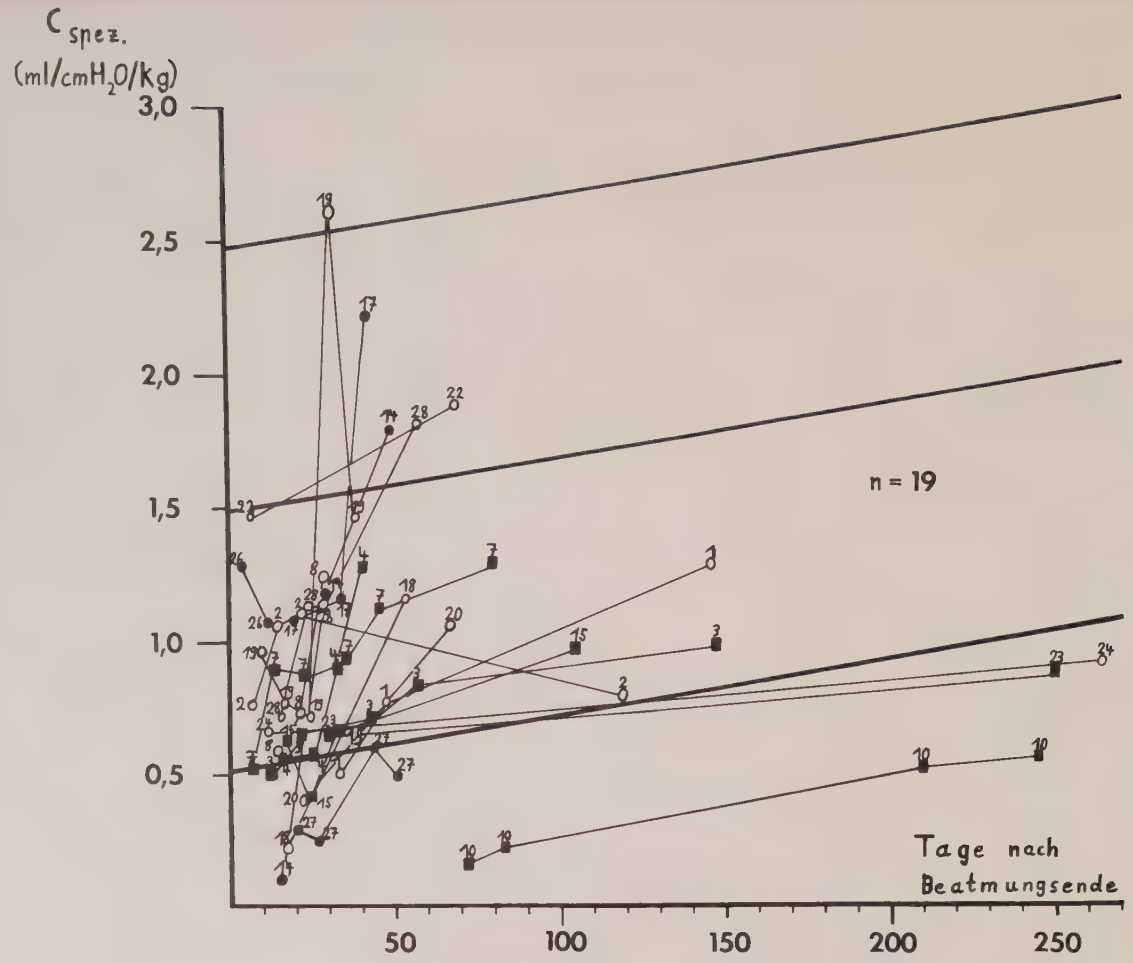
Abb. 6: Spezifische Compliance (ml/cm H_2O/kg) bei beatmeten Säuglingen mit hyalinen Membranen der Lunge

Auf der Abszisse ist die Zeit nach Beatmungsende in Tagen und auf der Ordinate die spezifische Compliance in ml pro cm H_2O pro kg Körpergewicht dargestellt. Regressionsgerade ($y = 0{,}001827\,x + 1{,}509 \pm 0{,}98$) und doppelte Standardabweichung von lungengesunden Säuglingen sind zum Vergleich eingezeichnet. Die Symbole ○ ● ■ bedeuten:

○ weniger als 200 Stunden kontrollierte Beatmung; weniger als 100 Stunden Gabe von Sauerstoff über 40 %

● weniger als 200 Stunden kontrollierte Beatmung; mehr als 100 Stunden Gabe von Sauerstoff über 40 %

■ mehr als 200 Stunden kontrollierte Beatmung; mehr als 100 Stunden Gabe von Sauerstoff über 40 %

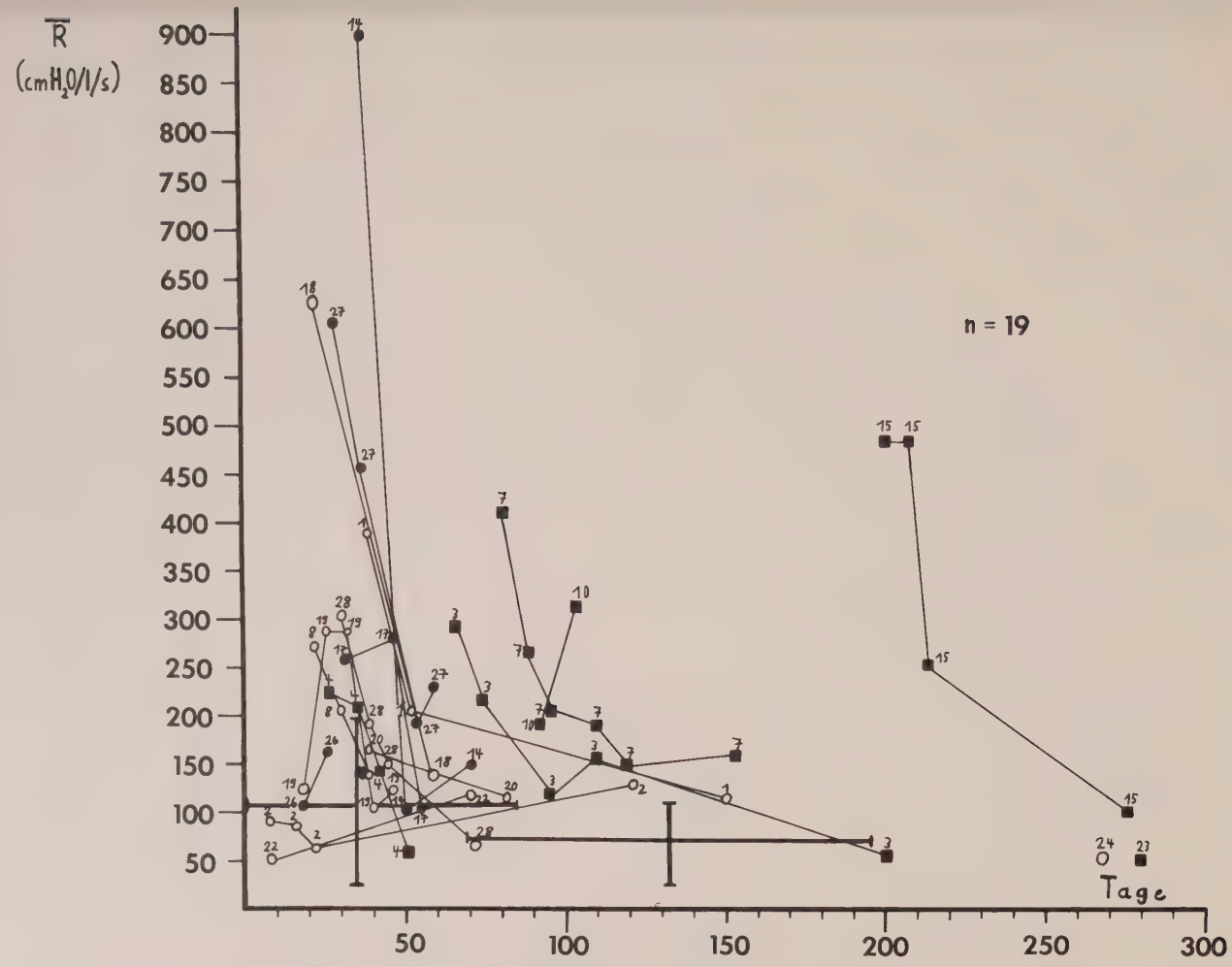

C spez.
(ml/cmH2O/kg)
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
n = 19
Tage nach
Beatmungsende
50
100
150
200
250

IV. 2.2 Resistance ($R_{(cm\ H_2O/l/s)}$) (Abb. 7)

Die Resistance zum Zeitpunkt der ersten Messung, d.h. im Mittel 18 Tage nach Beatmungsende, ist bei 12 Säuglingen (Pat.Nr. 1, 3, 4, 7, 8, 10, 14, 15, 17, 18, 27, 28) im Vergleich zu lungengesunden erhöht. 6 bis 8 Wochen nach der ersten Messung ist bei 9 der 12 Säuglinge ein starker Abfall der Resistance eingetreten, 3 Säuglinge (Pat.Nr. 7, 10, 27) weisen noch erhöhte Werte auf.

Abb. 7: Resistance (cm H_2O/l/s) bei beatmeten Säuglingen mit hyalinen Membranen der Lunge

Auf der Abszisse ist das Lebensalter in Tagen und auf der Ordinate die Resistance in cm H_2O/l/s dargestellt. Eingezeichnet sind zum Vergleich Mittelwerte und doppelte Standardabweichung für Lebensalter und Resistance jeweils für eine Gruppe von 27 lungengesunden Säuglingen im Alter von im Mittel 33 Tagen und eine Gruppe von 6 lungengesunden Säuglingen von im Mittel 132 Tagen.

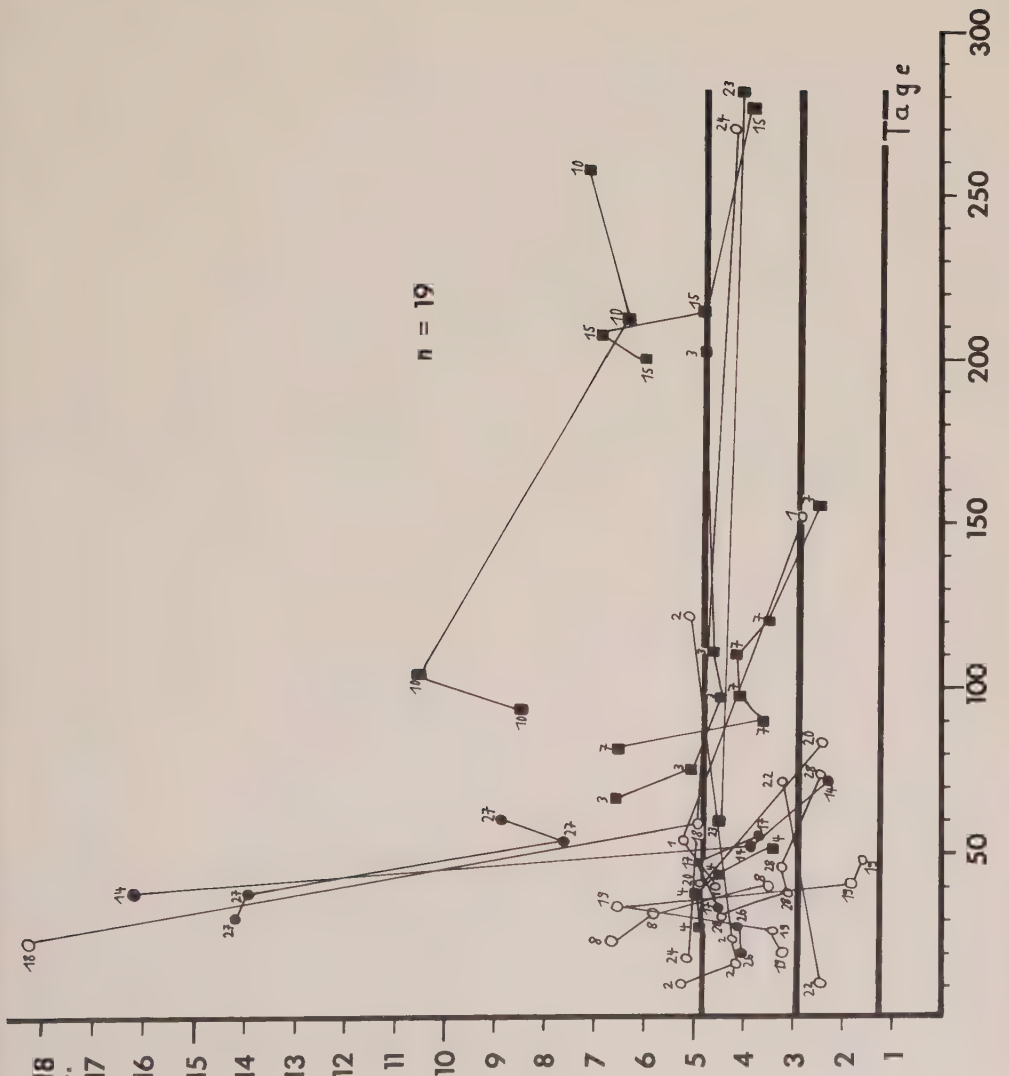

$\overline{R}$
(cmH$_2$O/l/s)
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
n = 19
50
100
150
200
250
300
Tage

IV. 2.3 Spezifische Atemarbeit (Atemarbeit$_{spez.}$ (pcm/l)) (Abb. 8)

Aus der Abbildung 8 ist ersichtlich, daß bei 10 der beatmeten Säuglinge zum Zeitpunkt der ersten Messung die spezifische Atemarbeit im Vergleich zu lungengesunden erhöht ist. 6 bis 8 Wochen später nimmt die Atemarbeit bei 8 der 10 Säuglinge deutlich ab; nur bei 2 Säuglingen (Pat.Nr. 10,27) können noch erhöhte Werte festgestellt werden.

Abb. 8: Spezifische Atemarbeit (pcm/l) bei beatmeten Säuglingen mit hyalinen Membranen der Lunge

Auf der Abszisse ist das Lebensalter in Tagen und auf der Ordinate die spezifische Atemarbeit in pcm pro l dargestellt. Mittelwert und doppelte Standardabweichung der bei lungengesunden Kindern ermittelten Werte sind zum Vergleich eingezeichnet ($\bar{x} = 2{,}97 \pm 1{,}79$ pcm/l).


Atemarbeit spez. (n cm/l)
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
n = 19
50
100
150
200
250
300
Tage

IV. 3 Einzeluntersuchungen an Kleinkindern, die postpartal beatmet wurden

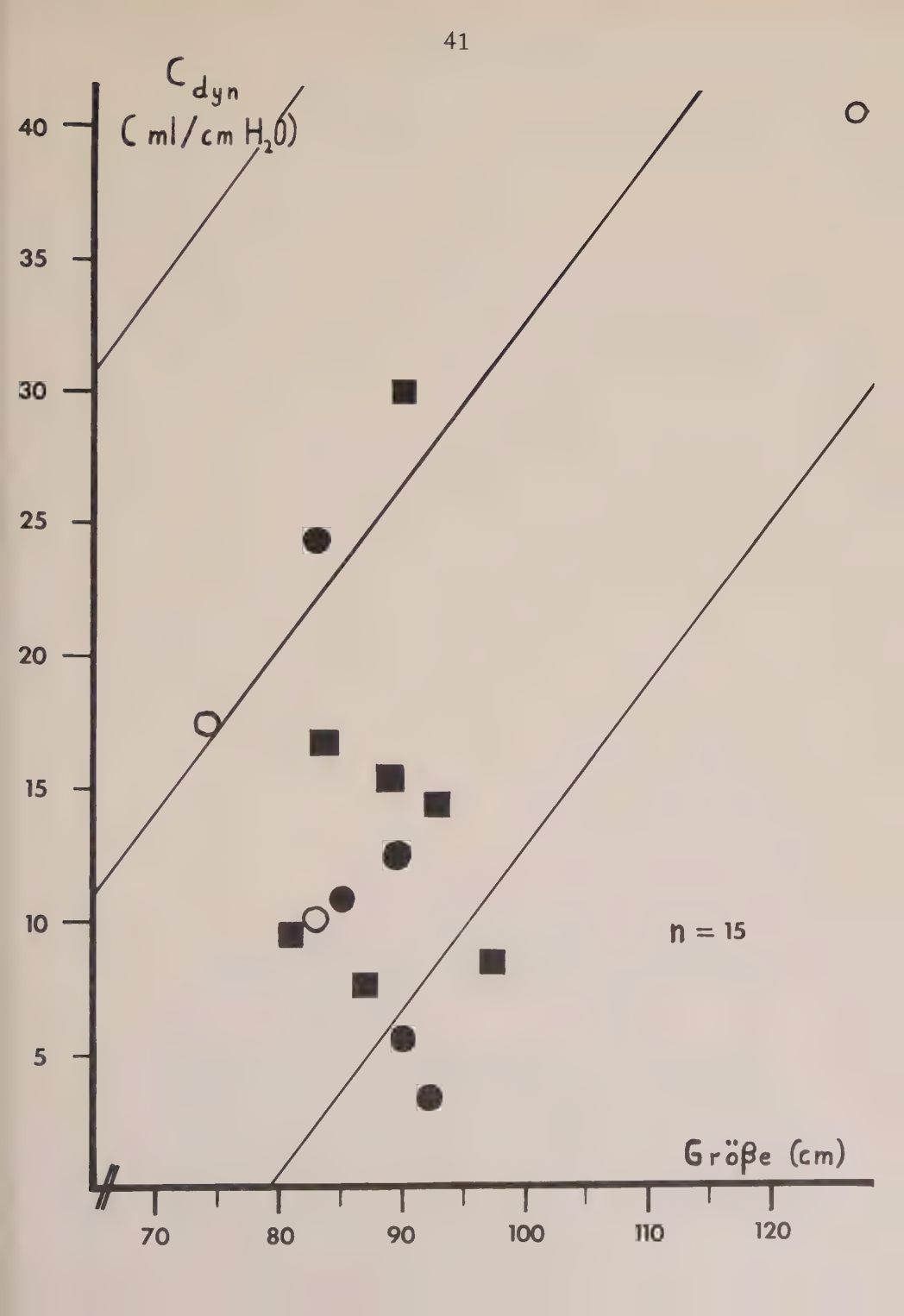
Die Lungenfunktionsuntersuchungen an 15 Kleinkindern ergeben folgende Werte:

IV. 3.1 Dynamische Compliance ($C_{dyn.}$ (ml/cm H_2O)) (Abb. 9)

Die dynamische Compliance ist hier gegen die Größe in cm aufgetragen. Regressionsgerade ($y = 0{,}63 \times$ Größe $- 30 \pm 20$) und doppelte Standardabweichung des von BENOIST und Mitarbeitern untersuchten Kollektivs lungengesunder Kinder sind zum Vergleich eingezeichnet. 3 der 15 postpartal beatmeten Kleinkinder zeigen eine pathologisch erniedrigte dynamische Compliance.

Abb. 9: Dynamische Compliance (ml/cm H_2O) bei Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen der Lunge beatmet wurden

Auf der Abszisse ist die Größe in cm und auf der Ordinate die dynamische Compliance in ml pro cm H_2O aufgezeichnet. Regressionsgerade ($y = 0{,}63 \times$ Größe $- 30 \pm 20$) und doppelte Standardabweichung stellen eine von BENOIST untersuchte Gruppe von lungengesunden, gleichaltrigen Kleinkindern dar.

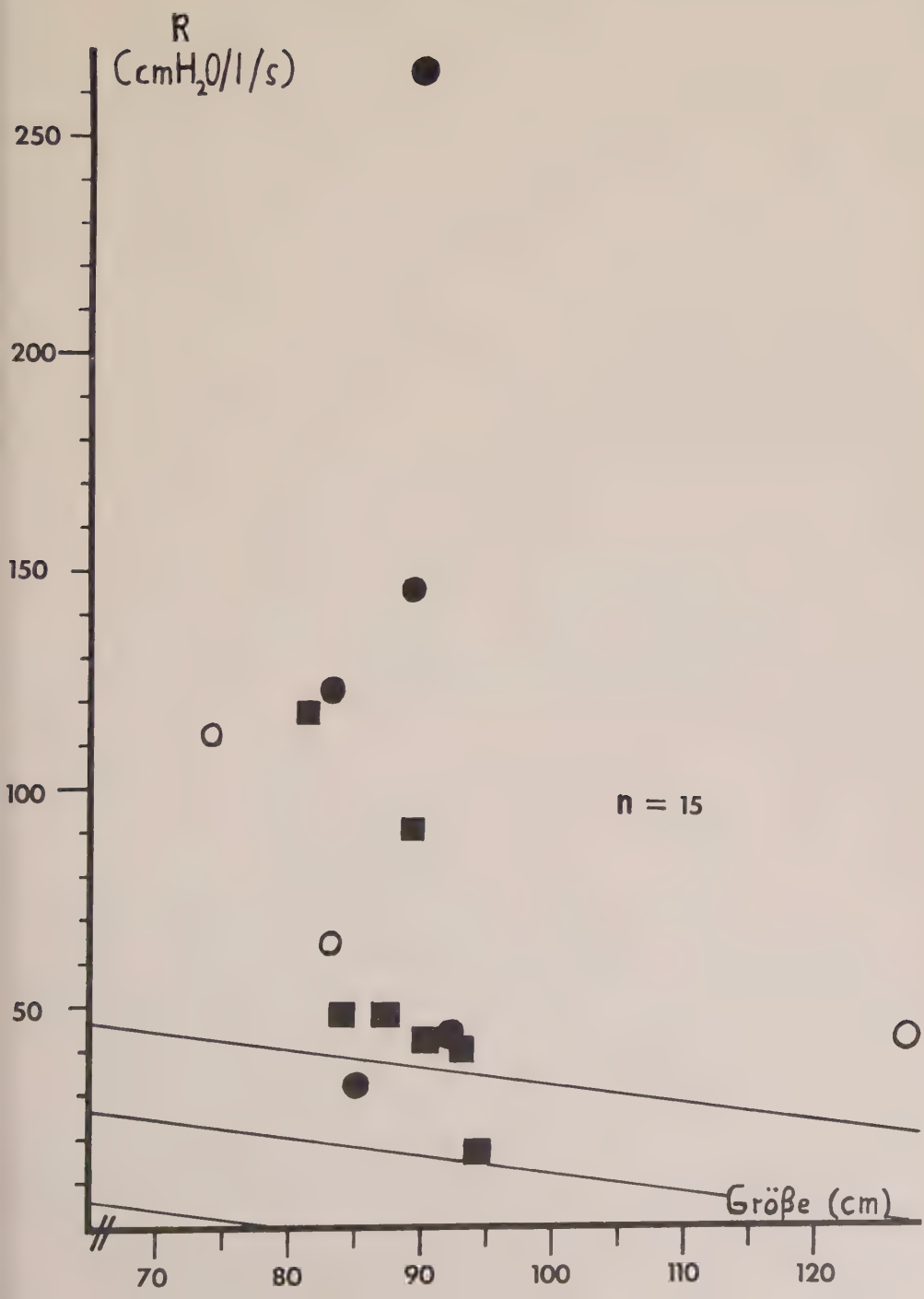

C dyn
(ml/cm H2O)
40
35
30
25
20
15
10
5
n = 15
Größe (cm)
70
80
90
100
110
120

IV. 3.2 Resistance ($\bar{R}_{(cm\ H_2O/l/s)}$) (Abb. 10)

In Abbildung 10 ist die Resistance gegen die Größe in cm aufgetragen. Regressionsgerade ($y = -0{,}39 \times \text{Größe} + 52 \pm 20$) und doppelte Standardabweichung der von BENOIST und Mitarbeitern untersuchten Kinder sind zum Vergleich eingezeichnet. 13 der 15 nachuntersuchten Kleinkinder zeigen erhöhte Atemwiderstände.

Abb. 10: Resistance (cm H_2O/l/s) bei Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen der Lunge beatmet wurden

Auf der Abszisse ist die Größe in cm und auf der Ordinate die Resistance in cm H_2O pro l pro s aufgeführt. Zum Vergleich sind Regressionsgerade ($y = -0{,}39 \times \text{Größe} - 52 \pm 20$) und doppelte Standardabweichung einer von BENOIST untersuchten Gruppe von lungengesunden, gleichaltrigen Kleinkindern dargestellt.


R
(cmH2O/l/s)
250
200
150
100
50
n = 15
Größe (cm)
70
80
90
100
110
120

IV. 3.3 Spezifische Atemarbeit ($Atemarbeit_{spez.}$ (pcm/l))

Die spezifische Atemarbeit beträgt bei den postpartal beatmeten Kleinkindern im Mittel $3{,}52 \pm 3{,}0$ pcm/l.

IV. 3.4 Klinische Untersuchung, Röntgen:

Klinisch sind 8 der 15 postpartal beatmeten Kleinkinder auffällig:

4 wegen rezidivierend, obstruktiver Bronchitiden;
4 mal wird ein Stridor und 6 mal werden Belastungscyanose beziehungsweise Belastungsdyspnoe angegeben.
Röntgenologisch ist bei 10 Kindern eine vermehrte Zeichnung in der Lungenübersichtsaufnahme vorhanden.

TABELLE 3

EINZELMESSUNGEN AN KLEINKINDERN, DIE

Pat.Nr.	Geburts-gewicht (g)	Gestations-alter (Wochen)	Art der postpartalen Atemstörung	Beatmungs-dauer (h)	Sauerstoff-gabe 40% (h)
1,♂	1420	28/29	HMS II	296	148
2,♂	1700	32	HMS II-III	48	88
3,♂	2900	37	HMS II	184	304
4,♀	3000	36	HMS I	88	ø
7,♀	2130	36	HMS I	104	120
8,♀	2170	35/36	HMS III	148	220
9,♀	1890	35/36	HMS II	242	168
10,♀	1830	33	HMS II	452	242
11,♂	1050	28	HMS I	232	300
12,♂	1730	33	HMS III	72	72
13,♂	1390	30	HMS III	354	354
14,♂	2150	38	HMS III	132	132
16,♂	1280	28/29	HMS II	408	408
18,♀	1950	33	HMS II	244	244
19,♂	2100	34	HMS III	96	96

P O S T P A R T A L B E A T M E T W U R D E N

Lebens-alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	$C_{dyn.}$ (ml/cm H_2O)	$\overline{R}$ (cm H_2O/l/s)	Atemarbeit$_{spez.}$ (pcm/l)
2,10	94	13,6	6,35	17,74	3,72
4,4	127	20,0	41,27	43,0	3,04
1,11	92	10,5	3,26	44,0	6,47
1,8	74	9,0	17,73	113,0	1,88
2,2	90	11,4	5,6	266	5,38
1,10	85	10,0	10,8	32	3,33
1,10	87	11,0	7,54	49	5,42
1,10	89	9,0	15,4	91	2,77
2,4	90	12,5	30,1	43	2,57
1,7	83	10,5	10,1	65	3,33
1,7	81	10,5	9,4	118	5,55
1,4	83	12,5	24,25	123	1,72
2,0	83,5	10,5	16,86	49	2,18
1,11	92,5	12,5	14,4	40	3,3
2,6	89,5	11,5	12,5	146	2,17

TABELLE 4 -------- KLINISCHER EINDRUCK NACHUNTERSUCHUNGEN AN KLEINKINDERN,

Pat.Nr.	Stridor	Einziehungen	Zyanose	Auskultation
1,♂	ø	ø	ø	o.B.
2,♂	++	+	ø	verschärftes AG, bes. exspirator.
3,♂	ø	ø	ø	o.B.
4,♀	ø schnarcht	ø	++	verschärftes AG
7,♀	ø schnarcht	+	ø	o.B.
8,♀	ø	ø	ø	o.B.
9,♀	ø	ø	n. Belastung röchelnde Atmung	o.B.
10,♀	+	ø	Dyspnoe, Atemnot n. Belastung	verschärftes AG
11,♂	ø	ø	ø	o.B.
12,♂	ø	+	+	verschärftes AG
13,♂	ø	+	+	o.B.
14,♂	ø	ø	ø	o.B.
16,♂	++	ø	ø	verschärftes AG
18,♀	in-u. exsp.	ø	ø	vereinzelt grobblasige RG
19,♂	ø	ø	Belastungscyanose	vereinzelt grobblasige RG

D I E P O S T P A R T A L B E A T M E T W U R D E N

Röntgenologische Veränderungen	Erkrankungen
vermehrt streifige Zeichnung	Bronchitis 4-6 mal pro Jahr
Infekthili, re. starke Peribronchitis	Strabismus, Molluscum contagiosum
leicht vermehrte Zeichnung	Ø
Infekthili, Peribronchitis re.	asthmatische (obstruktive) Bronchitiden
vermehrte Zeichnung	chronisch obstruktive Bronchitiden
o.B.	starke Bronchitis vor 6-8 Wochen
Peribronchitis re.	häufig Bronchitis
o.B.	sehr häufig Bronchitis
vermehrte Zeichnung	selten Infekte
kräftige Hiluszeichnung, vermehrte perihiläre streifige Zeichnung reli	sehr häufig Bronchitis
beidseits perihilär vermehrte Fleck- und Streifenzeichnung re./li.	Kahnbrust
beidseits zentral deutlich vermehrte Streifenzeichnung	Ø
gering vermehrte perihiläre Streifenzeichnung	Trachealkanüle
Bronchopneumonie	Ø
perihilär vermehrte fleckige und streifige Zeichnung	cerebral retardiert
Infekthili mit Peribronchitis beidseits	oft erkältet, Apnoe bei Krämpfen

V. Diskussion

V. 1. Lungengesunde Säuglinge

Die Werte für die spezifische Compliance zeigen eine relativ große Streuung, bedingt durch große biologische intraindividuelle Schwankungen. Die Meßergebnisse für die spezifische Compliance stimmen gut mit den in der Literatur gefundenen Werten überein (2, 9, 11, 24, 31, 33, 37 siehe Tabelle 5)

Die Resistancewerte liegen deutlich über denen anderer Untersucher (Tabelle 5). Den hohen Werten liegen ursächlich methodische Probleme zugrunde: Einfluß der Sedierung mit verstärkter Sekretbildung sowie Behinderung der Nasenatmung durch den nasopharyngealen Katheter und das Andrücken der Maske (BENOIST, STAHLMAN und AVERY).

Für die spezifische Atemarbeit fanden sich in der Literatur keine vergleichbaren Werte.

T A B E L L E 5

E R G E B N I S S E A N D E R E R A U T O R E N

Autor	N	Alter	$C_{spez.}$ (ml/cm H_2O)	$\overline{R}$ (cm H_2O/l/s)
Avery (1965)(2)		Ng	1,7	29
Cook (1957)(11)	23	Ng	1,73	29
Chu (1964) (9)	31	Ng	2,0	
Hjalmarson (1974) (17)	49	Ng		42/3 kg KG
Mc Ilroy (1955)(24)	13	Ng	1,82	
Prod'hom (1964)(31)		Ng	1,4	
Riegel (1969) (33)		Ng	1,5	
		1 Monat	1,4	
		1 Jahr	1,0	
Swyer (1960) (37)	15	Ng	1,7	26
eigene Ergebnisse	41	3 - 305 Tage ($\overline{x}$=56,56)	1,61	
	27	$\overline{x}$=33,37		112,05
	6	$\overline{x}$=132,17		69,69

V. 2. Verlaufmessungen an beatmeten Säuglingen

BRYAN und Mitarbeiter untersuchten 29 postpartal wegen eines Atemnotsyndroms beatmete Frühgeborene, von denen 11 eine bronchopulmonale Dysplasie (BPD) entwickelten.

Die Autoren bezogen die dynamische Compliance auf die Körperlänge in cm. Sie fanden für die Gruppe mit Atemnotsyndrom ohne BPD eine spezifische Compliance von im Mittel 0.033 ± 0.020 ml/cm H_2O/cm. Die Gruppe mit Atemnotsyndrom und BPD wies demgegenüber einen deutlich erniedrigten Mittelwert von 0.015 ± 0.006 ml/cm H_2O/cm auf. Der Normalbereich liegt bei BRYAN bei 0.082 ± 0.029 ml/cm H_2O/cm.

Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Werte der dynamischen Compliance, bezogen auf die Länge, betragen für Säuglinge mit Atemnotsyndrom 0.033 ± 0.017 ml/cm H_2O/cm bei der ersten Messung nach Beatmungsende. Diese Werte stimmen sehr gut mit denen von BRYAN überein. Das Alter der von BRYAN untersuchten Säuglinge betrug 1 Monat, und entspricht somit annähernd dem Alter der hier untersuchten Gruppe zum Zeitpunkt der ersten Messung.

Die Mehrzahl der hier untersuchten Säuglinge zeigt zwei Monate nach der ersten Messung einen deutlichen Anstieg der dynamischen Compliance. Bei BRYAN ergeben die Untersuchungen, daß die beatmeten Säuglinge und besonders diejenigen mit bronchopulmonaler Dysplasie auch im Alter von 2 bis 4 Monaten noch deutlich erniedrigte Werte der dynamischen Compliance haben. Erst im Alter von 6 bis 12 Monaten steigen die Werte der dynamischen Compliance für die Gruppe ohne BPD an; 3 Kinder mit BPD zeigen unverändert stark erniedrigte Werte. Niedrige Werte der spezifischen Compliance werden bei histologischen Veränderungen des Lungengewebes, insbesonders fibrotischen Umbauvorgängen gesehen. Hinweise dafür, daß besonders bei Kindern mit BPD histologische Veränderungen in der Lunge vorhanden sind geben mehrere Autoren:

BOSS und CRAIG beobachteten reparative Phänomene in den Lungen verstorbener Neugeborener mit hyalinen Membranen der Lunge. Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß bereits nach 24 bis 48 Stunden extrauterinen Lebens reparative Prozesse im Sinne von Zellproliferationen und Fibroblastentransformationen auftreten können. HODGMAN und Mitarbeiter zeigten in ihrer Studie, daß histologische Untersuchungen von Lungen verstorbener Säuglinge eine beginnende Fibrose vom 10. Lebenstag an nachweisen können. NORTHWAY vertritt in seiner 1967 veröffentlichten Studie die Ansicht, daß Respiratorbeatmung und hohe Sauerstoffkonzentrationen über mehr als 150 Stunden (sechs Tage) zu einer verzögerten Heilungsphase der hyalinen Membranen der Lunge und zu bronchopulmonaler Dysplasie führen kann. TAGHIZADEH und Mitarbeiter berichten ebenfalls über eine hohe statistisch signifikante Korrelation zwischen derartig exzessiven Reparationsmechanismen mit fibrotischen Umbauvorgängen und der Anwendung von Drucken über 35 Torr während der künstlichen Beatmung.

Die Resistance zum Zeitpunkt der ersten Messung, d.h. im Mittel 18 Tage nach Beatmungsende, ist bei 12 Säuglingen im Vergleich zu lungengesunden erhöht. 6 bis 8 Wochen nach der ersten Messung ist bei 9 der 12 Säuglinge ein starker Abfall der Resistance eingetreten, 3 Säuglinge, Patient Nr. 7, 10, 27, weisen noch erhöhte Werte auf. Der Atemwiderstand ist nach der Beatmung und Extubation wahrscheinlich noch stark erhöht, weil die geröteten, entzündeten Bronchien durch die Schleimhautschwellung ein verengtes Lumen haben. Mit Abklingen der Veränderungen im Verlauf der Zeit sinkt auch die Resistance.

10 der beatmeten Säuglinge haben zum Zeitpunkt der ersten Messung eine erhöhte spezifische Atemarbeit im Vergleich zu lungengesunden. 6 bis 8 Wochen später nimmt die Atemarbeit bei 8 der 10 Säuglinge deutlich ab; nur bei 2 Säuglingen, Patient Nr. 10, 27, können noch erhöhte Werte festgestellt werden.

V. 3. Einzeluntersuchungen an Kleinkindern, die postpartal beatmet wurden

Bei Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen künstlich beatmet wurden, lassen sich mit Hilfe von Lungenfunktionsuntersuchungen, klinischer Inspektion und Röntgenaufnahmen der Lunge auch Jahre nach dem Ereignis noch krankhafte Veränderungen aufdecken.
3 von 15 Kleinkindern haben eine pathologisch erniedrigte dynamische Compliance. Die Resistance ist bei 13 von 15 nachuntersuchten erhöht, wenn als Vergleichskollektiv lungengesunde Kinder gewählt werden, die von BENOIST und Mitarbeitern untersucht wurden. BENOIST und Mitarbeiter führten die Resistancemessung allerdings im Sitzen und ohne vorherige Sedierung aus, im Gegensatz zu den in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Messungen. Ein Vergleich beider Kollektive ist daher nur bedingt möglich. Dennoch liegen die Werte der Resistance bei etwa 6 Kindern in einem sehr hohen Bereich (Patient Nr. 4, 7, 10, 13, 14, 19, siehe Abb. 10).

Veränderungen der spezifischen Atemarbeit sind schwer einzuschätzen, da kein lungengesundes Vergleichskollektiv vorhanden ist. Die Werte liegen mit im Mittel von $3{,}52 \pm 3{,}0$ pcm/l deutlich über denen von lungengesunden Säuglingen ($2{,}97 \pm 1{,}79$ pcm/l). Klinisch sind 8 der 15 postpartal beatmeten Kleinkinder auffällig: 4 wegen rezidivierend, obstruktiver Bronchitiden; 4 mal wird ein Stridor und 6 mal werden Belastungscyanose beziehungsweise Belastungsdyspnoe angegeben. Röntgenologisch ist bei 10 Kindern eine vermehrte Zeichnung in der Lungenübersichtsaufnahme vorhanden.

SHEPARD findet bei Nachuntersuchungen an 19 4 bis 5 jährigen Kindern, die postpartal beatmet wurden, röntgenologische Zeichen einer pulmonalen Fibrose oder Überblähung oder auch beides. Zwei Kinder hatten gehäuft Infektionen und exspiratorisches Giemen. Lungenbiopsien bei zwei Kindern zeigten Areale mit peribronchiolärer und alveolärer Fibrose. HARROD und Mitarbeiter untersuchten fortlaufend 22 Kinder, die wegen eines schweren Atemnotsyndroms intermittierend mit positiven Drucken beatmet wurden, vom ersten bis zum fünften Lebensjahr. 15 Kinder entwickelten eine bronchopulmonale Dysplasie. OUTERBRIDGE und STERN berichten in ihrer Studie, daß von 74 beatmeten Kindern 28 wiederholt wegen Bronchiolitis oder Bronchopneumonie stationär behandelt wurden. Bei 21 Kindern zeigte das Röntgenbild peribronchiale Verdickungen und/oder Lungenüberflutung.

Im Gegensatz zu den eben genannten Untersuchern stehen LAMARRE und STAHLMAN mit ihren Ergebnissen. LAMARRE und Mitarbeiter sprechen in ihrer Studie von fast vollständiger Heilung und nur geringfügigen Einschränkungen der Lungenfunktion bei Kindern, die das Atemnotsyndrom überlebten. Auch die Nachuntersuchungen von STAHLMAN und Mitarbeitern zeigen, daß die Langzeitprognose von Seiten der Lunge gut ist, sofern die akute Beatmungsphase überwunden werden kann.

Aus den eigenen Ergebnissen, verglichen mit denen der oben genannten Untersucher, kann man schließen, daß die Langzeitprognose beatmeter Säuglinge doch nicht so günstig ist. Einzelne Kinder, die wegen hyaliner Membranen der Lunge postpartal langzeitbeatmet wurden, weisen noch Jahre nach Beendigung der Respiratortherapie pathologische Lungenfunktionswerte, klinische Auffälligkeiten und röntgenologische Veränderungen der Lunge auf. Postpartal langzeitbeatmete Säuglinge sollten deshalb langfristig überwacht werden mit Hilfe von 1. Lungenfunktionsdiagnostik, 2. klinischen Untersuchungen und 3. Röntgen. Mit Hilfe der Lungenfunktionsdiagnostik scheint eine prognostische Aussage zu einem sehr frühen Zeitpunkt möglich: wenn 2 Monate nach Beatmungsende kein deutlicher Anstieg der dynamischen bzw. spezifischen Compliance festzustellen ist, gilt dies als prognostisch ungünstiges Zeichen.

Bei der klinischen Untersuchung sind zu achten auf obstruktive Bronchitiden, Belastungscyanose und Stridor. Röntgenologisch ist besonders nach einer vermehrten Zeichnung in der Lungenübersichtsaufnahme zu fahnden.

Auffällige Patienten sind intensiv und langfristig durch physikalische Maßnahmen, Dauersekretolyse sowie frühzeitige Infektbekämpfung zu behandeln.

VI. Zusammenfassung

An 19 Säuglingen und 15 Kleinkindern, die postpartal wegen hyaliner Membranen der Lunge beatmet werden mußten, wurden Untersuchungen durchgeführt.

Bei fast allen Säuglingen finden sich zum Zeitpunkt der ersten Messung (im Mittel 18 Tage nach Beendigung der Beatmung) relativ niedrige Werte der spezifischen Compliance von im Mittel 0,65 ml/cm H_2O/kg. Resistance und spezifische Atemarbeit sind bei der Mehrzahl erhöht. In den darauffolgenden Wochen gibt es unterschiedliche Verläufe: Bei 13 von 19 Säuglingen kommt es zu einem steilen Anstieg der Compliance in kurzer Zeit. Bei 2 Säuglingen ist ein mäßiger Anstieg vorhanden und bei 4 fehlt über Monate die aufsteigende Tendenz nahezu vollständig. Diese Säuglinge zeigen auch klinische Auffälligkeiten.

Bei den Kleinkindern haben von den 15 nachuntersuchten 3 eine erniedrigte dynamische Compliance und die Mehrzahl eine relativ hohe Resistance. Klinisch sind 8 Kinder auffällig, 10 Kinder weisen im Röntgenbild pathologische Lungenveränderungen auf.

Die Prognose postpartal wegen hyaliner Membranen langzeitbeatmeter Kinder erscheint nicht sehr günstig.

Aus den Ergebnissen wird geschlossen, daß eine frühzeitige prognostische Tendenz 6 bis 8 Wochen nach Beatmungsende durch Registrierung der Lungenfunktion, insbesondere der dynamischen beziehungsweise spezifischen Compliance, erkennbar wird. Daraus ergibt sich die Möglichkeit einer frühzeitigen, konsequenten Behandlung.

VII. Literaturverzeichnis

1. Agostoni, E.:
Mechanics of the Pleural Space
Physiol. Rev. 52, 91–92 (1972)

2. Avery, M.E., Normand, C.:
Respiratory Physiology in the Newborn Infant
Anesthesiology 26, 510–521 (1965)

3. Avery, M.E., Fletcher, B.D.:
The Lung And Its Disorders In The Newborn Infant
Philadelphia, Saunders (1974)

4. Benoist, M.R., Siguier, C., Jean, R., Fermanian, J., Paupe, J,, Vialatte, J.:
Lung Function After Neonatal Respiratory Distress Syndrome
Bull. Eur. Physiopathol. Respir. 12, 703–714 (1976)

5. Boss, J.H., Craig, J.M.:
Reparative Phenomena In Lungs Of Neonates With Hyaline Membranes
Pediatrics 29, 890–898 (1962)

6. Bouterline-Young, H.J., Smith, C.A.:
Respiration Of Fullterm And Of Premature Infants
Am. J. Dis. Child 80, 753–766 (1950)

7. Bryan, M.H., Hardie,M.J., Reilly, B.J., Swyer, P.R.:
Pulmonary Function Studies During The First Year Of Life In Infants Recovering From The Respiratory Distress Syndrome
Pediatrics 52, 169–178 (1973)

8. Chu, J.S., Clements, J.A., Cotton, E.K., Klaus, M.H., Sweet, A.Y., Tooley, W.H.:
Neonatal Pulmonary Ischema,
I. Clinical and physiological studies
Pediatrics 40, 709–782 (1967)

9. Chu, J.S., Dawson, P., Klaus, M., Sweet, A.Y.:
Lung Compliance And Lung Volume Measured Concurrently In Normal Fullterm And Premature Infants
Pediatrics 34, 525–532 (1964)

10. Comroe, J.H.:
Die Lunge, klinische Physiologie und Lungenfunktionsprüfung
Stuttgart, Schattauer (1968)

11. Cook, C.D., Sutherland, J.M., Segal, S., Cherry, R.B., Mead, J., Mc Ilroy, M.B., Smith, C.A.:
Studies Of Respiratory Physiology In The Newborn Infant III. Measurements Of Mechanics Of Respiration
J. Clin. Invest. 36, 440–448 (1957)

12. Ganong, W.F.:
Lehrbuch der Medizinischen Physiologie 3. Aufl.
Springer Berlin, Heidelberg, New York (1974)

13. Geubelle, F., Senterre, J.:
Capacitė ventilatoire et permeabilitė bronchique chez l'enfant sain et asthmatique
Stuttgart, Schwab & Co. (1965)

14. Geubelle, F., Vavrova, V., Lambrechts, L.:
Mesure De La Pression Intrathoracique Chez L'Enfant
Poumon Coeur 25, 1075–1083 (1969)

15. Hardt, H. von der, Geubelle, F.:
Relationship between Endoesophageal and Intrathoracic Pressures in Children
Respiration 30, 252–259 (1973)

16. Harrod, J.R., L'Heureux, P., Wangensteen, O.P., Hunt, C.E.:
Long-term follow-up of severe respiratory distress syndrome treated with IPPB
Pediatrics 84, 277–286 (1974)

17. Hjalmarson, O.:
Mechanics of Breathing in Newborn Infants with Pulmonary Disease
Stockholm, Almqvist & Wiksell (1974)
Acta Paediatr. Scand. (Suppl.)

18. Hodgman, J.E.:
Chronic Lung Disorders, in Avery, G.B.: Neonatology, Pathophysiology and Management of the Newborn
Philadelphia, Lippincott (1975)

19. HSE-Biomesstechnik II/1972
Hugstetten, Sachs Elektronik (1971)

20. Karlberg, P., Cherry, R.B., Escardo, F., Koch, G.:
Respiratory Studies in Newborn Infants
I. Apparatus and Methods for Studies of Pulmonary Ventilation an the Mechanics of Breathing.
Principles of Analysis in Mechanics of Breathing
Acta Paediatr. Scand. 49, 345–357 (1960)

21. Krieger, I.:
Studies on mechanics of respiration in infancy
Am. J. Dis. Child 105, 439–448 (1963)

22. Lamarre, A., Linsao, L., Reilly, B.J., Swyer, P.R., Levison, H.:
Residual Pulmonary Abnormalities in Survivors of Idiopathic Respiratory Distress Syndrome
Am. Rev. Respir. Dis. 108, 56–61 (1973)

23. Lejeune, J.-A., Gold, F., Huault, G.:
La Maladie Des Membranes Hyalines Du Nouveau-Nè
Rev. Practicien 25, 791–804 (1975)

24. Mc Ilroy, M.B., Tomlinson, E.S.:
The Mechanics Of Breathing In Newly Born Babies
Thorax 10, 58–61 (1955)

25. Mikity, V.G., Taber, P.:
Complications in the Treatment of the Respiratory Distress Syndrome
Pediatr. Clin. North Am. 20, 419–431 (1973)

26. Milic-Emili, J., Mead, J., Turner, J.M., Glauser, E.M.:
Improved technique for estimating pleural pressure from esophageal·balloons
J. Appl. Physiol. 19, 207–211 (1964)

27. Northway, W.H., Rosan, R.G., Porter, D.Y.:
Pulmonary Disease Following Respirator Therapy Of Hyaline-Membrane Disease (Bronchopulmonary Dysplasie)
N. Engl. J. Med. 276, 357–374 (1967)

28. Outerbridge, E.W., Stern, L.:
Developmental Follow-Up Of Artificially Ventilated Infants With Hyaline Membrane Disease
Pediatr. Res. 6, 412 (1972)

29. Petit, J.M., Milic-Emili, G.:
Measurement of Endoesophageal Pressure
J. Appl. Physiol. 13, 481–485 (1958)

30. Polgar, G.:
Airway resistance in the newborn infant
Pediatrics 59, 915–921 (1961)

31. Prod'hom, L.S., Levison, H., Cherry, R.B., Drorbaugh, J.E.:
Hubbell, J.P., Smith, C.A.:
Adjustment Of Ventilation, Intrapulmonary Gas Exchange
And Acid Base Balance During First Day Of Life.
Normal Values in Well Infants of Diabetic Mothers.
Pediatrics 33, 682–693 (1964)

32. Reynolds, E.O.R.:
Indications For Mechanical Ventilation In Infants With
Hyaline Membrane Disease
Pediatrics 46, 193–202 (1970)

33. Riegel, K.:
Der Einfluß hämodynamischer Veränderungen bei angeborenen Herzfehlern auf die Lungenfunktion des Säuglings
Mschr. Kinderheilk. 117, 133–137 (1969)

34. Senterre, J., Geubelle, F.:
Measurement of Endoesophageal Pressure in the Newborns
Biol. Neonate 16, 47–53 (1970)

35. Shepard, F.M., Johnston, R.B., Klatte, E.C., Burko, H.
Stahlman, M.:
Residual Pulmonary Findings In Clinical Hyaline-Membrane
Disease
N. Engl. J. Med. 279, 1063–1071 (1968)

36. Stahlman, M., Hedvall, G., Dolanski, E., Faxelius, G., Burko, H., Kirk, V.:
A Six-Year Follow-Up of Clinical Hyaline Membrane Disease
Pediatr. Clin. North Am. 20, 433–446 (1973)

37. Swyer, P.R., Reiman, R.C., Wright, J.J.:
Ventilation and ventilatory mechanics in the newborn
J. Pediatr. 56, 612–622 (1960)

38. Taghizadeh, A., Reynolds, E.O.R.:
Pathogenesis of Bronchopulmonary Dysplasia Following Hyaline Membrane Disease
Am. J. Pathol. 82, 241–264 (1976)

39. Wawersik, J.:
Pneumotachographie
Anwendungsmöglichkeiten und methodische Grundlagen im Rahmen anaesthesiologischer Probleme bei Säuglingen und Kleinkindern
Anaesthesist 14, 259–263 (1965)

40. Westgate, H.D., Fisch, R.O., Langer, L.O., Staub, H.P.:
Pulmonary and Respiratory Function Changes in Survivors of Hyaline-Membrane Disease
Chest 55, 465–470 (1969)

Herrn Prof. Dr. med. G.-A. von Harnack danke ich für die Überlassung eines Arbeitsplatzes an seiner Klinik.

Herrn Priv. Doz. Dr. med. E. A. Stemmann möchte ich besonders danken für die Wahl des Themas und die wertvollen Hinweise bei der Zusammenstellung der Arbeit.

Ebenso dankbar bin ich Herrn Dr. med. Ch. Steinhagen, der mich stets hilfsbereit beraten hat.

LEBENSLAUF

Am 27. Oktober 1954 wurde ich als Tochter des Felix Moderau und seiner Ehefrau Renate, geb. Scheffler in Wuppertal geboren.

Von April 1961 bis November 1963 besuchte ich in Wuppertal die Grundschule und von Dezember 1963 bis März 1965 ging ich in Düsseldorf zur Grundschule. Anschließend wechselte ich zum Ceciliengymnasium in Düsseldorf. Dort legte ich am 26. Mai 1973 die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1973/74 begann ich an der Universität Düsseldorf das Studium der Humanmedizin. Nach dem Sommersemester 1975 bestand ich das Physikum, nach dem Sommersemester 1976 den I. Teil der Ärztlichen Prüfung und nach dem Sommersemester 1978 den II. Teil der Ärztlichen Prüfung. Zur Zeit bin ich Medizinstudentin im Praktischen Jahr am Lukas-Krankenhaus in Neuss.